

# 配電系統のサージ波形解析の一方法

中 沢 力 \*

## On a Method of Analysis of Surge Wave Forms of Distribution Feeder Systems

Tsutomu NAKAZAWA

### ABSTRACT

A 2-terminal network may be driven by a voltage or current source at the driving point, and the corresponding current or voltage may be measured. We call the resultant ratio the driving point impedance function  $Z(s)$  or the driving point admittance function  $Y(s)$ , respectively, of the network.

Taking typical forms of surge waves in distribution feeder systems, we explain a method to analyze these characteristics of the feeders, namely the fundamental electric elements of the feeders  $R$ ,  $L$ ,  $C$ , and their ratios. The analysis will contribute to the appropriate design of distribution feeder systems or to the improved standards for such design, in view of the increased significance of the response of high-frequency characteristics of distribution systems in recent technical developments.

### 1. はしがき

配電線フィーダーのサージ波形については文献<sup>(1)</sup>に示されているが、この実測された波形を図1に再記さしていただく、

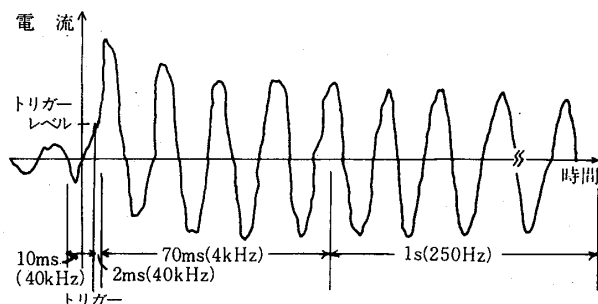


図 1 ザージ波形

その解析については具体的に簡明な方法によって、その系統の駆動点関数を求めた、駆動点における電圧と電流の比が駆動点関数 (Driving-point function) である。入力か出かの何れか一方が知られていると他方を測定することによって簡単に駆動点関数が知

られる。電気回路や電気系統について、測定や計算によって解析してゆくことは、その回路や系統の電気的特性を知ることにおいて重要で、このことは回路や系統の基本的な設計、計画に関連をもつ、電子測定機器の発展は技術的にも、また経済的にも普及の傾向にあり、数多くのデータを検討することによって、配電線ヒーダー系統の電気的特性が明かになるであろう。またパワーエレクトロニクスの応用が拡大されるとともに高調波の問題が取上られる傾向にあり、配電線の在り方や設計法に遡って見直される傾向にある。

### 2. サージ波形と回路網関数

図1によるサージ波形は巨視的には減衰正弦波形であり、その周期はほぼ電源の周波数の周期に一致している。過波直流分が表れている。過度時の0から立上る部分について、その正弦波の定常状態にもどる間について図2に示すよりにA, B, C曲線の合成と見て分解して考えることができる。ここにA曲線は正弦波であり、B, C曲線は指数関数波である。<sup>(2)</sup>

\* 電子電気工学科

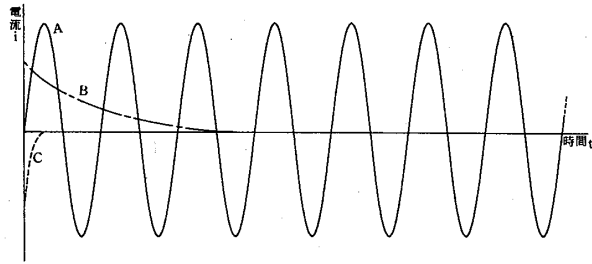


図 2 サージ波形の合成

図 1 によるサージ波形は電流の割合を示しているものとし、又サージ発生前の電流値を単位電流とし、これを基準として各部の振幅を計算したものである。時間軸は 60「サイクル」の周波数を基準としている。

正弦波 A  $4.82 \sin \omega t$

指数関数波 B  $3.04 e^{-62.2t}$

指数関数波 C  $3.04 e^{-599t}$

基準となる電圧  $e(t) = E \sin(\omega t + \theta) \dots \dots (2.1)$

ここに  $\theta$  は電圧の電流に対する進み位相角とする。またこの電圧  $e(t)$  は電圧源と考えて一定電圧として取扱う。サージ電流は回路網の応答電流で、これを時間領域では図 2 によって分解して次のように表することができる。

$$i(t) = [4.82 \sin \omega t + 3.04 (e^{-62.2t} - e^{-599t})] \cdot u(t) \dots \dots (2.2)$$

(2.2) の右側の第一項は定常項、第二項は過渡項である。

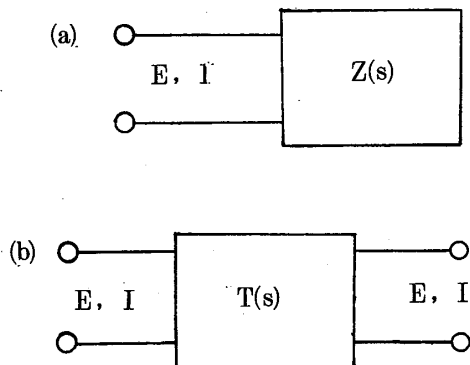


図 3 (a) 二端子回路網  
(b) 四端子回路網

二端子網及び四端子網を図 3 (a), (b) に図示する。(a) の場合は駆動点関数 (b) の場合は伝達関数として表現される、駆動点における電圧或は電流の比は駆動点関数として表現され、 $Z(s)$  又は  $Y(s)$  として表示される。(b) の場合は入力側電圧又は電流に対し出力側電圧又は電流の比を伝達関数として表示され  $T(s)$

で表示される。いま配電系統の回路網を二端子回路網で取扱うことにすると  $Z(s)$  又は  $Y(s)$  を求めればよい。 $e(t)$ ,  $i(t)$  のプラス変換を  $E(s)$ ,  $I(s)$  で表わせば

$$I(s) = E(s) \cdot Y(s) \dots \dots (2.3)$$

である。ただし回路の初期値はすべて 0 と仮定する。ラプラス変換公式から

$$E(s) = E \frac{\omega \cos \theta + s \sin \theta}{s^2 + \omega^2} \dots \dots (2.4)$$

$i(t)$  は (2.2) 式で  $K_1 = 4.82$ ,  $K_2 = 3.04$

$a = 62.2$   $b = 599$  ただし  $K_1, K_2, a, b$  は常数である。

$$i(t) = [K_1 \sin \omega t + K_2 (e^{-at} - e^{-bt})] \cdot u(t)$$

であるから

$$I(s) = K_1 \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} + K_2 \left( \frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b} \right) \dots \dots (2.5)$$

$$Y(s) = I(s)/E(s)$$

$$Z(s) = E(s)/I(s)$$

で求まる。

以下周波数領域で検討を行うことができる。これによって回路網の固有周波数が、 $S$  平面上の配置を知り、過渡特性その他を推定する。

### 3. サージ波形と高調波の関係

配電系統に高調波分が増大の傾向にあることは知られている。サージ発生時の過渡状態において問題がある。このことは電源を商用周波数を似て考え方を取扱ってきた配電系統に対して、さらに高周波電源が配電系統に加わることを考えねばならない。斯様な意味で応答としてあらわれたサージ波形に高調波成分が細かく不規則に加わって正弦波の波形を乱していることが考えられる。例えば図 1 のサージ波形にあらわれているであろう。

配電系統は理論的に分布定数回路として進行波の考え方が適用されることが考えられる。波形のみだれについては不連続点の反射、透過係数をもって説明する。高周波成分のパルスによる小さい波形の歪みについて、例えば図 1 に示されるトリガー回路の動作時の波形の乱れについて、電流波形の乱れについてはトリガー回路が働いたとき、出力回路の不連続点としてあらわれるから、パルスの進行波が入射、反射、透過を繰り返す。したがって図 4, 図 5 に示す集中定数として小さな直列インダクタンス (図 4) 或は小さな並列キャパシタンス (図 5) として存在するものとする。これら夫々  $j\omega(\Delta L)$ , あるい

は  $1/j\omega(\Delta C)$  とおくと,

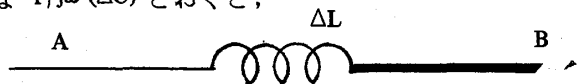


図 4 直列インダクタンスを含む分布定数回路

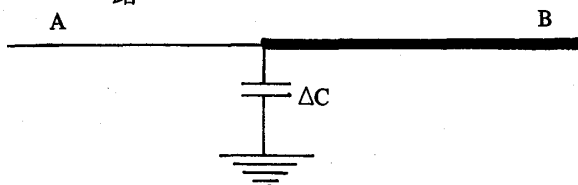


図 5 並列キャパシタンスを含む分布定数回路

図 4, 図 5 の A 部分, B 部分はそれぞれ波動インピーダンス  $Z_0$  を有するものとする。

$$\text{A 部分} \quad Z_0 + j\omega(\Delta L), \quad Z_0 + \frac{1}{j\omega(\Delta C)}$$

$$\text{B 部分} \quad Z_0, \quad Z_0$$

進行波 (例えば図 6 に示す波形のステップ波形であって), これが入射波を  $i_i$ , 反射波を  $i_r$ , 透過波を  $i_t$  とする。また A 部分の線路の波動インピーダンスを  $Z_1$ , B 部分のそれを  $Z_2$  とおくと,  $\Delta L$ ,  $\Delta C$  の存在が小さい不連続点となるから, 入射反射等の関係は

$$\frac{i_r}{i_i} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{j\omega(\Delta L)}{j\omega(\Delta L) + 2Z_0}$$

ここで小さい  $\Delta L$  或は小さい  $\Delta C$  は  $Z_0$  に比して省略できる。したがって

$$\frac{i_r}{i_i} \approx \frac{j\omega(\Delta L)}{2Z_0}$$

また

$$j\omega I_0 = \frac{d}{dt} i_i$$

$$\text{これは } i_i = I_0 e^{j\omega t}$$

とかける。

ただし,  $I_0$  は入力側の値,  $I_v$  は出力側の値を示すものと考えてよい。

$$\text{また } I_v = \frac{\Delta L}{2Z_0} \left( \frac{d}{dt} i_i \right)$$

$$\left. \frac{d}{dt} i_i \right|_{\max} \approx \frac{I_0}{T_R}$$

ただし  $T_R$  はステップ波の立上り時間である。

ここにステップ波の立上り時間は最大傾斜に比例するから

$$I_r \approx \frac{\Delta L}{2Z_0} \frac{I_0}{T_R}$$

である, また小さなキャパシタンスの場合は同様にして次の通りである。

$$I_r \approx \frac{\Delta C \cdot Z_0}{2} \frac{I_0}{T_R}$$

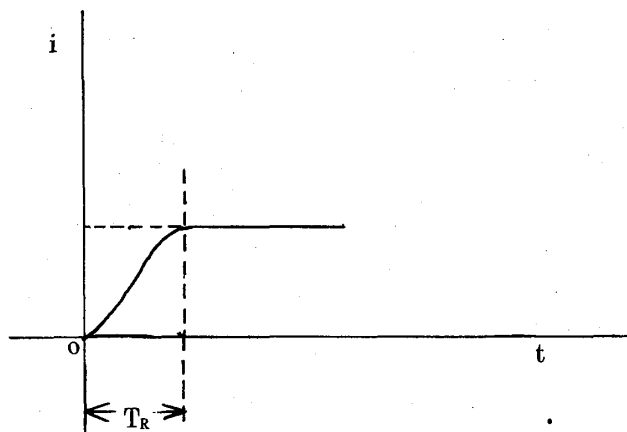


図 6 ステップ波形

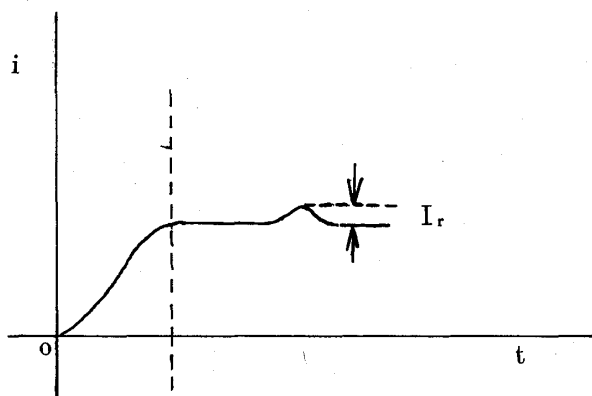


図 7 小インダクタンスによる歪

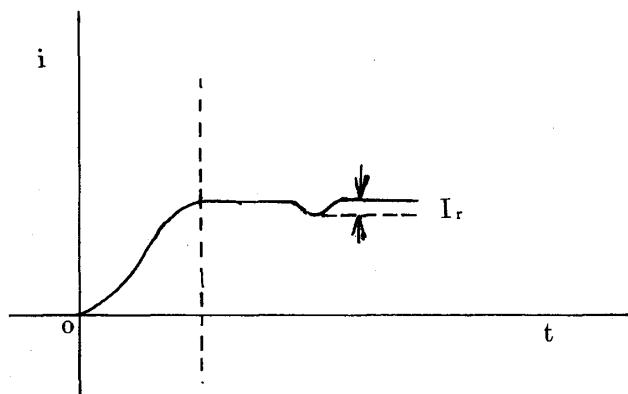


図 8 小キャパシタンスによる歪

図 7, 図 8 を参照されたい。<sup>(4)</sup>

配電系統における高調波電圧, 電流の発生については, わが国では最近採り上げられて話題になっている。パワーエレクトロニクスの進歩と共にダイオード, サイリスタを用いた機器が急速に増加の傾向にある。例えば最近の研究<sup>(3)</sup>では, 例えば第 2 次高調波の相電圧  $e_n$  と電流  $i_n$  とその位相差  $\gamma_n$  は  $\gamma_n$  が  $90^\circ$  以内であれば負荷側に向って電流が流れ,  $\gamma_n$  が  $90^\circ$  以上であれば負荷から電源に向って流れ込んでいる。また高調波電流の発生源はサイリスタなど

を用いた電源装置，サイリスタなどで駆動される交直電動機の駆動システム，アーク炉などの非線形負荷，サイクスタ回路を内蔵した家庭用機器，変圧器回転機など電磁機器で磁気飽和の強いもの，等々である。斯様な事情の下では配電線フィーダーについて，もはや集中定数回路として論ずることは不可であり，分布定数回路として論ずることが必要であろう。サージ波形は，その配電線フィーダー（複数）の系統の線路定数の構成の特性がサージ発生期間の過渡的な電氣的特性から考察される。

#### 4. むすび

本文のサージ波形の分析については助手三谷泰夫君の応援を受けたことと，卒業生大崎輝正君および河合秀雄君の図面作成上の援助について厚く各位に御礼申します。

#### 【 参考文献 】

- (1) 中沢力：「配電線ヒューダーのサージ波形の解析について」福山大学工学部紀要第4号 1982年3月 pp. 7~10
- (2) L. V. Bewley: *Traveling Waves on Transmission Systems* (2nd Edition) pp. 24~26.
- (3) 井上昌彦：「電力系統の高調波と低減対策」電気学会雑誌 昭和58年6月号103巻6号 pp. 538~544
- (4) R. E. Matick: *Transmission Line for Digital and Communication Networks* (1969) pp. 168~172.